

氏 名 那木 拉
授与した学位 博 士
専攻分野の名称 工 学
学位授与番号 博甲第3376号
学位授与の日付 平成19年 3月23日
学位授与の要件 自然科学研究科数理電子科学専攻
(学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目 シリコン中の白金－水素複合欠陥における水素の運動に関する研究
論文審査委員 教授 上浦 洋一 教授 奈良 重俊 助教授 鶴田 健二

学位論文内容の要旨

水素は半導体結晶表面領域に容易に侵入し、ドナー、アクセプタなどを電気的に不活性化し、半導体の電気的特性に大きく影響することが知られている。一方、遷移金属不純物は半導体中に侵入してバンドギャップ中に深い電子準位を生じ、半導体の電気的・光学的特性に大きく影響することがよく知られている。半導体中の水素はこの遷移金属不純物と相互作用して水素－遷移金属複合欠陥を形成することが報告されているが、その構造に関する知見や複合欠陥内部での水素の運動などダイナミックな性質についての報告はほとんどない。

本研究では、半導体の電気的特性に大きく影響する水素と、最近ライフタイムキラーなどに応用されている代表的な遷移金属不純物である白金(Pt)に注目し、それらの複合欠陥の電子準位と構造を明らかにすることと、複合欠陥内部における水素の運動を研究し水素の移動・拡散に関する知見を得ることを目的とした。以下では本論文における各章の概要を示す。

第1章では、本研究の背景として、半導体中の水素及び白金の及ぼす電気的・光学的影響について述べ、さらに、今までの白金－水素複合欠陥に関する研究の現状を解説し、本研究の目的を記述した。

第2章と第3章では、本研究の全体について用いた Isothermal Deep-Level Transient Spectroscopy (IT-DLTS) 法の原理と解析方法さらに試料作製について述べた。

第4章では、本研究の研究対象である Pt-H₂ 複合欠陥の電子準位について、<111>方向の応力印加 IT-DLTS 測定によるピーク分裂を観測した結果を示す。その分裂パターンは Kaplyanskii の圧電分光理論に照らすことにより、欠陥の対称性が<100>軸に主軸を持つ C_{2v} 対称性と一致した。

第5章では、水素の運動による Pt-H₂ 複合欠陥の応力配向過程を観測し、その荷電効果と同位元素効果を調べた結果を示した。荷電効果の実験より、水素の運動が欠陥の荷電状態に強く依存することがわかった。すなわち、Pt-H₂ 複合欠陥の荷電状態が-1 価の場合は-2 価の場合より動くやすいことがわかり、それぞれの荷電状態における水素運動の活性化エネルギーを求めた。同位元素効果の実験より、重水素の振動因子が水素のものと比べて約 0.8 倍に減少することがわかり、この応力配向回復過程が確かに水素の運動によるものであることを実験的に裏付けた。

第6章では、本研究により得られた結果を総括し、本研究のまとめとした。

論文審査結果の要旨

本研究は、シリコンの電気的特性に大きく影響する不純物である水素と白金が相互作用して形成される白金－水素複合欠陥の電子準位と構造を明らかにし、複合欠陥内部における水素の運動を詳しく調べることにより水素の移動・拡散に関する知見を得ることを目的として行われたものである。

実験及び解析では、Isothermal Deep-Level Transient Spectroscopy (IT-DLTS) 法を用いて、白金－水素複合欠陥の電子準位 ($E_c-0.15$ eV) を観測した。さらに、一軸性応力を加えるとこの電子準位が影響を受け、IT-DLTSピークが分裂することを明らかにした。その分裂パターンを圧電分光理論に照らすことにより、欠陥の対称性が $\langle 100 \rangle$ 軸に主軸を持つ C_{2v} 対称性をもつとの結論を導き出した。

次に、応力をかけながら温度を上げると、欠陥の全エネルギーが最も低い配置になるように欠陥の配向が揃う（応力配向が起こる）ことにより、応力により分裂したピークの強度比が変化することを見出し、さらに、その後応力を除去すると欠陥の配置が元の状態に戻っていく、いわゆる応力配向回復過程を調べることにより水素の運動を評価した。その結果、水素の運動に対して同位元素効果と荷電効果が存在することを明らかにした。まず同位元素効果については、重水素の振動因子が水素のものと比べて約0.8倍に減少することを明らかにし、この応力配向回復過程が確かに水素の運動によるものであることを実験的に証明した。次に荷電効果については、欠陥の荷電状態が-1価の場合が-2価の場合より水素が動きやすいことを明らかにし、それぞれの活性化エネルギーを0.28 eVおよび0.4 eVと決定した。さらに、文献のデータとの比較により、応力が水素の運動に影響しないことを示した。

以上のように、本研究はシリコン中の白金－水素複合欠陥の電子準位と構造および水素の運動に関して重要な知見を提示したものであり、工学的応用の価値が高いものである。したがって、博士（工学）の学位を授与するに値するものであると判断する。